

Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa

Bioerosão sobre *Megacardita jouanneti*
(Bivalvia) do Miocénico da Foz do Rego
(Costa de Caparica, Portugal)

Sofia Raquel Cardoso Pereira

Bolsas Universidade de Lisboa/Fundação Amadeu Dias
Lisboa, 2009

Projecto financiado pela Fundação Amadeu Dias em parceria com a Universidade de Lisboa,
por meio de uma bolsa de Iniciação à Investigação.

RESUMO

A Arriba Fóssil da Costa de Caparica encerra todo um interesse geológico alvo de inúmeros estudos de índole paleontológica (macro e micropaleontologia), biostratigráfica, estrutural, sedimentológica, entre outros.

A icnologia é uma área em expansão nos últimos anos, na qual se inserem os estudos de bioerosão, nunca efectuados sobre o conteúdo paleontológico da referida arriba.

O presente trabalho incide no estudo de estruturas de bioerosão sobre valvas de *Megacardita jouanneti* do Miocénico da jazida da Foz do Rego, Costa de Caparica (Portugal), num total de 18 icnotaxa de categoria específica distintos. A par da considerável icnodiversidade presente, a percentagem de valvas bioerosionadas, também, extremamente elevada (99%). A estrutura bioerosiva predominante é *Umbichnus inopinatus*, seguindo-se estruturas relacionadas com a actividade perfurante de organismos não predadores, nomeadamente anélideos poliquetas (*Caulostrepsis* – *Meandropolydora*), talófitas (*Semidendrina*) e briozoários ctenostomados (*Pinaceocladiochnus* – *Pennatichnus*). A distribuição espacial das estruturas de bioerosão permitiu concluir que há um claro predomínio de valvas colonizadas numa fase *post-mortem* do organismo anfitrião, principalmente após exumação e exposição dos restos corpóreos desse organismo sobre o substrato por períodos de tempo consideráveis, em detrimento dos exemplares que apresentam estruturas produzidas em vida ou imediatamente *post-mortem*.

ABSTRACT

The fossil cliff of Costa de Caparica (Arriba Fóssil da Costa de Caparica) is very interesting from geological point of view. Several paleontological, biostratigraphical, structural, sedimentological, and other studies have been conducted in this area.

In Portugal paleoichnology has seen several interesting developments in the last decade. Nonetheless, paleoichnological studies have never been performed on material originating from Arriba Fóssil da Costa de Caparica.

This work focuses on the study of bioerosion structures associated with *Megacardita jouanneti* shells from the Miocene of Foz do Rego, Costa de Caparica (Portugal), revealing 18 different specific icnotaxa. Besides the considerable ichnodiversity, the percentage of bioeroded shells in the analysed samples is extremely high (99%). The dominant bioerosion structure is *Umbichnus inopinatus*, followed by structures linked to the boring activity of non-predatory organisms, including annelid borings (*Caulostrepsis* and *Meandropolydora*), algal microborings (*Semidendrina* - form) and ctenostome bryozoans (*Pinaceocladiochnus* and *Pennatichnus*). Spatial distribution analysis of bioerosion structures show that there is clear predominance of shells affected after the death of the host organism. The bioerosion infestation occurs mainly after exhumation and exposure of the skeletal remains above the sediment water interface.

Índice

I.	INTRODUÇÃO	4
II.	ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO	5
III.	MATERIAL E MÉTODOS	6
IV.	RESULTADOS	7
IV.I	Litofácies, macrofósseis e tafonomia geral	7
IV.II	Taxas de Bioerosão	7
IV. III	Discussão de resultados	10
IV.IV	Sequências de colonização	10
V.	CONCLUSÃO	14
	Agradecimentos	14
	Bibliografia	15

I. INTRODUÇÃO

Uma fatia importante do registo fóssil é composta por vestígios de partes duras de organismos (somatofósseis). Contudo, uma parte significativa dos organismos do passado não possuía partes esqueléticas duras. Deste modo, a única forma de obter informação sobre a sua existência é procurando os vestígios fossilizados da sua actividade orgânica (icnofósseis). Por outro lado, uma vez que os icnofósseis resultam de vestígios produzidos em vida e são, frequentemente conservados *in situ*, o seu estudo (paleoicnologia) permite obter informações preciosas sobre como os organismos do passado se comportavam, como se relacionavam com outros organismos (Paleoecologia) e quais os paleoambientes em que viviam.

A Paleoicnologia é a disciplina paleontológica que se ocupa do estudo das evidências de comportamento de organismos pretéritos: os icnofósseis. São considerados icnofósseis os vestígios de actividade vital preservados no registo geológico, sendo agrupados em icnotáxones, segundo classificação parataxonómica, paleoicnológica, organizada em apenas duas categorias icnotaxonómicas: icnogénero e icnospécie. A nomenclatura icnotaxonómica obedece às regras do Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (Bromley, 1992; 1994).

Segundo Bertling *et al.* (2003) o tratamento taxonómico dos icnofósseis implica uma abordagem uniforme independente dos grupos etológicos de interesse. As potenciais icnotaxobases são avaliadas tendo como critério principal a morfologia resultante. Deste modo o tamanho, o produtor, a idade e o tipo de fácies são rejeitados como icnotaxobases. Icnitos recentes podem ser identificados através de relações com marcas fósseis mas novos taxa apenas podem ser estabelecidos com base em material fóssil.

De acordo com o tipo de interacção organismo produtor-substrato, individualizam-se quatro categorias de vestígios: estruturas de bioerosão, bioturbação, biodeposição e de bio-ordenação. São objecto do presente estudo as estruturas de bioerosão. A palavra bioerosão, termo introduzido por Neumann (1966) como abreviatura da expressão “biological erosion”, designa o processo de desgaste ou corrosão exercido pela acção directa de animais ou plantas, sobre substratos duros, sejam eles líticos ou lenhosos (Bromley, 1992), tendo como resultado o entalhe e/ou a perfuração da sua superfície (Bromley, 1994).

As estruturas de bioerosão são consideradas entidades biológicas. A atribuição destas a um produtor específico é uma tarefa problemática, podendo apenas ser feita quando ocorrem estruturas de bioerosão associadas com os restos fossilizados do organismo que lhes deu origem. É ainda necessário ter em conta que as estruturas de bioerosão resultam de um determinado comportamento do seu produtor, pelo que o mesmo organismo pode gerar diferentes estruturas de bioerosão ou diferentes organismos podem originar estruturas semelhantes, se adoptarem comportamentos idênticos.

Segundo Santos (2008: pág. 14), “[...] praticamente todos os táxones de categoria superior (Filo ou Divisão) actuais englobam representantes capazes de produzir estruturas bioerosivas[...]”, diferenciando-se organismos perfurantes, encrustantes, raspadores e produtores de traumatismos, sendo a maioria organismos epibentónicos.

A diversidade de padrões comportamentais evidenciados pelas diferentes estruturas icnológicas fósseis levou à criação de classificações etológicas. Segundo Gibert *et al.* (2004), em estudos de bioerosão, podem considerar-se seis categorias etológicas: *pascichnia* (nutrição-locomção), *domichnia* (habitação), *cubichnia* (repouso), *praedichnia* (predação), *equilibrichnia* (reajustamento gradual a nível do substrato) e *fixichnia* (fixação-ancoragem).

Nas duas últimas décadas houve um considerável aumento de estudos sobre bioerosão, sendo que em Portugal se iniciaram na década de 1990 (Pereira, 1993; Silva *et al.*, 1995) estando ainda numa fase inicial, verificando-se um interesse crescente nesta área (Silva *et al.*, 1999; Santos *et al.*, 2007).

O presente estudo baseia-se na identificação e interpretação paleoecológica de estruturas bioerosivas em substratos biomineralizados, concretamente sobre valvas de *Megacardita jouanneti* (Basterot, 1825) da jazida da Foz do Rego (Costa da Caparica) de idade miocénica. São objectivos deste estudo a determinação das taxas de bioerosão sobre o substrato referido e de áreas preferenciais para ocorrência dos diferentes tipos de estruturas, bem como a análise paleoecológica de cada estrutura em particular, por forma a estabelecer uma sequência de infestação bioerosiva para as valvas de *M. jouanneti*.

II. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

O material estudado proveio da jazida da Foz do Rego, situada no NW da Península de Setúbal, a cerca de 3 km a SE da Costa de Caparica, em Portugal continental (fig. 1).

As formações em estudo inserem-se no Miocénico (Pais et al., 2006) da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo (Barbosa, 1995). Esta Bacia, é composta por uma alternância de sequências marinhas, salobras e continentais, descrita e subdividida em sete assentadas (Cotter, 1956) com cerca de 300 metros de espessura máxima (Antunes & Pais, 1993), inserindo-se numa unidade morfoestrutural mais ampla: a Orla Mesocenozóica Ocidental (Ribeiro et al., 1979). Usualmente esta Bacia é referida em conjunto com a Bacia do Sado, sendo a parte mais interior de ambas muitas vezes considerada como uma única unidade geológica – a Bacia do Tejo-Sado (Carvalho et al., 1985), que assenta directamente sobre o soco hercínico. A parte distal desta unidade assenta sobre substrato mesozóico, e sofreu, devido à sua proximidade com a faixa atlântica, incursões marinhas e de extensão variável (Carvalho, 2004). Na Região de Lisboa este bacia encontra-se suprajacente a formações mesozóicas e/ou sobre Complexo Vulcânico Lisboa-Mafra (Pereira, 1996).

Segundo Carvalho, em 2004, a Bacia do Tejo-Sado terá resultado da colisão da placa Africana com o extremo Sul do bloco ibérico, iniciando a sua individualização a partir da Bacia Lusitânica no Eocénico (Luteciano superior-Chatiano Inferior) (Barbosa, 1995). Este contexto geotectónico terá dado origem a forte subsidência, compensada por forte componente sedimentar (continental e marinha) (Carvalho et al., 1985 e Antunes & Pais, 1992).



Figura 1. Localização geográfica do afloramento da Foz do Rego.

As formações aflorantes na região da Foz do Rego pertencem à parte distal da Bacia do Baixo Tejo (Dollfus et al., 1903-04), comportando a assentada de fácies marinha, VIIb de

Cotter (Cotter, 1956) e, no topo, unidades detríticas fluvio-marinhas e fluviais geralmente atribuídas ao Pliocénico.

Biostratigraficamente é possível encontrar ao longo de vários estudos realizados na região em causa, posicionamentos ligeiramente diferentes. Relativamente aos estudos ditos clássicos, Cotter atribui a estas formações uma idade pertencente ao Tortoniano superior (Dollfus et al., 1903-04).

III. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho restringe-se ao estudo bioerosivo de valvas de *M. jouanneti*, tendo sido efectuada, para o efeito, uma amostragem por busca e recolhidas valvas mais de 50% completas, sob a forma de permineralizações. A escolha da espécie referida é justificada pela espessura apresentada pela concha deste bivalve, que, assim, constitui um óptimo substrato para estruturas de bioerosão e sua preservação. Na medida em que o estudo incide sobre estruturas de bioerosão em valvas de uma mesma espécie e não na sistemática dos elementos faunísticos da paleobiota, pode-se considerar que a representatividade icnológica da amostragem é significativa.

Foram recolhidas e analisadas 74 valvas (37 valvas direitas e 37 valvas esquerdas) de *M. jouanneti*, o que, segundo a recomposição lógica proposta por Penades & Acunã (1980), corresponde a um número mínimo de 37 indivíduos.

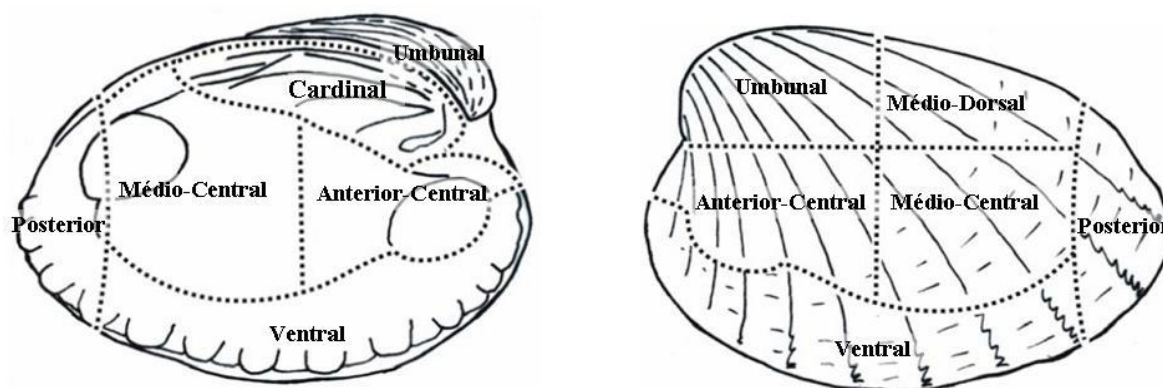


Figura 2. Esquema da localização das áreas resultantes da combinação dos diferentes sectores morfológicos de *Megacardita jouanneti*.

Após a recolha das amostras, procedeu-se à imersão dos exemplares em água durante o tempo necessário para a desagregação do sedimento envolvente e posterior lavagem. Seguidamente, as valvas foram observadas à lupa binocular (Olympus SZ) com aumento 45 x, identificando-se as diferentes estruturas bioerosivas presentes. Os dados obtidos foram dispostos num diagrama esquemático do contorno das valvas de *M. jouanneti*, dividido em seis áreas pela combinação dos diferentes sectores morfológicos (fig. 2), permitindo localizar cada estrutura após a sua observação e posteriormente projectar a sua frequência sob a forma de zonas de isodensidade em função do grau de ocupação das áreas (fig. 4).

Efectuou-se o registo fotográfico dos exemplares mais representativos de cada icnoespécie identificada recorrendo a técnicas de macrofotografia (Fuji Finepix S5800 de 6.3-63mm) e microfotografia à lupa binocular (Olympus DP12) (fig. 5).

O material paleoicnológico descrito e figurado encontra-se depositado no Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

IV.RESULTADOS

IV.I Litofácies, macrofósseis e tafonomia geral

A camada estudada é formada por calco-siltitos pouco compactos, friáveis, de tonalidade amarela, e muito fossilíferos. O grau de descalcificação dos fósseis de conchas é considerável, o que dificulta a recuperação da maioria dos espécimes que nela ocorrem, principalmente os que correspondem a conchas mais pequenas e frágeis. Este nível encontra-se embutido relativamente aos níveis supra- e subjacentes. Possui uma espessura de cerca de 60cm, na qual, superiormente, se diferencia um nível (cerca de 25 cm) mais fossilífero, consistindo numa concentração de conchas fósseis, algumas bem preservadas ou mesmo em posição de vida, e outras, geralmente as conchas mais frágeis, parcialmente fragmentadas. Muitos fósseis fragmentados apresentam-se rolados.

A orictocenose da camada estudada é, essencialmente, constituída por fósseis de moluscos bivalves e gastrópodes, possuindo em quantidades mais reduzidas fósseis de balanídeos, briozoários, entre outros. Os fósseis de *M. jouanneti* ocorrem unicamente sob a forma de valvas desarticuladas, estando estas quase sempre completas ou apresentando mais de 80% do esqueleto original, encontrando-se, em geral, bem preservados, com ornamentação patente, apresentando por vezes o bordo posterior fracturado.

IV.II Taxas de Bioerosão

No corrente estudo foi observada uma icnodiversidade considerável de estruturas bioerosivas, principalmente tendo em conta que, para a análise, foi apenas considerada a concha do bivalve *M. jouanneti* como substrato de bioerosão. Foram identificadas 18 icnoespécies pertencentes a 15 icnogéneros (tabelas 1 e 2). Destas icnoespécies, quatro foram identificadas com nomenclatura aberta (isp.). Foi também identificada uma estrutura de fixação de anelídeos poliquetas da família Serpulidae ainda não definida formalmente, correntemente em estudo (Santos, 2009, pers. comun.).

De um modo geral, a taxa de bioerosão para as valvas de *M. jouanneti* na orictocenose em estudo da jazida da Foz do Rego é extremamente elevada, com um valor total de 99% (fig. 3), sendo que apenas 1 dos 74 exemplares recolhidos não apresenta qualquer estrutura bioerosiva visível à escala a que foram feitas as observações.

Tabela 1. Estruturas etológicas de bioerosão identificadas na jazida da Foz do Rego (adaptado de Santos, 2005).

Iconotáxones	Grupo etológico	Produtores
<i>Annelusichnus circularis</i> Santos, Mayoral & Muñiz, 2005	<i>Fixichnia</i>	Cirrípedes balanomorfos
<i>Caulostrepsis contorta</i> Bromley & D'Alessandro, 1983 <i>Caulostrepsis taeniola</i> Clarke, 1908 <i>Meandropolydora sulcans</i> Voigt, 1965	<i>Domichnia</i>	Anelídeos poliquetas
<i>Cavernula pediculata</i> Radtke, 1991	<i>Domichnia</i>	Microrganismos algais endolíticos
<i>Entobia</i> Bronn, 1837	<i>Domichnia</i>	Esponjas Família Clionaidae
<i>Gastrochaenolites digujus</i> Kelly & Bromley, 1984	<i>Domichnia</i>	Bivalves litófagos
<i>Iramena bonarensis</i> Mayoral, 1988	<i>Domichnia</i>	Briozoários ctenostomados
<i>Leptichnus dromeus</i> Taylor, Wilson & Bromley, 1999 <i>Leptichnus peristroma</i> Taylor, Wilson & Bromley, 1999	<i>Fixichnia</i>	Briozoários ctenostomados
<i>Oichnus paraboloides</i> Bromley, 1981	<i>Praedichnia</i>	Gastrópodes Naticídeos/Muricídeos
<i>Pennatichnus luceni</i> Mayoral, 1988 <i>Pennatichnus moguerenica</i> Mayoral, 1988 <i>Pinaceocladichnus onubensis</i> Mayoral, 1988	<i>Domichnia</i>	Briozoários ctenostomados
<i>Saccomorpha terminalis</i> Radtke, 1991	<i>Domichnia</i>	Fungos
<i>Semidendrina</i> Glaub, 1994	<i>Domichnia</i>	Talófitas ?
<i>Rogerella</i> Saint-Seine, 1951	<i>Domichnia</i>	Crustáceos cirrípedes (Acrothoracica)
<i>Umbichnus inopinatus</i> Martinell, Domènech & Bromley, 1999	<i>Domichnia</i>	Anelídeos ?
Marcas de Serpulídeos	<i>Fixichnia</i>	Anelídeos Serpulídeos

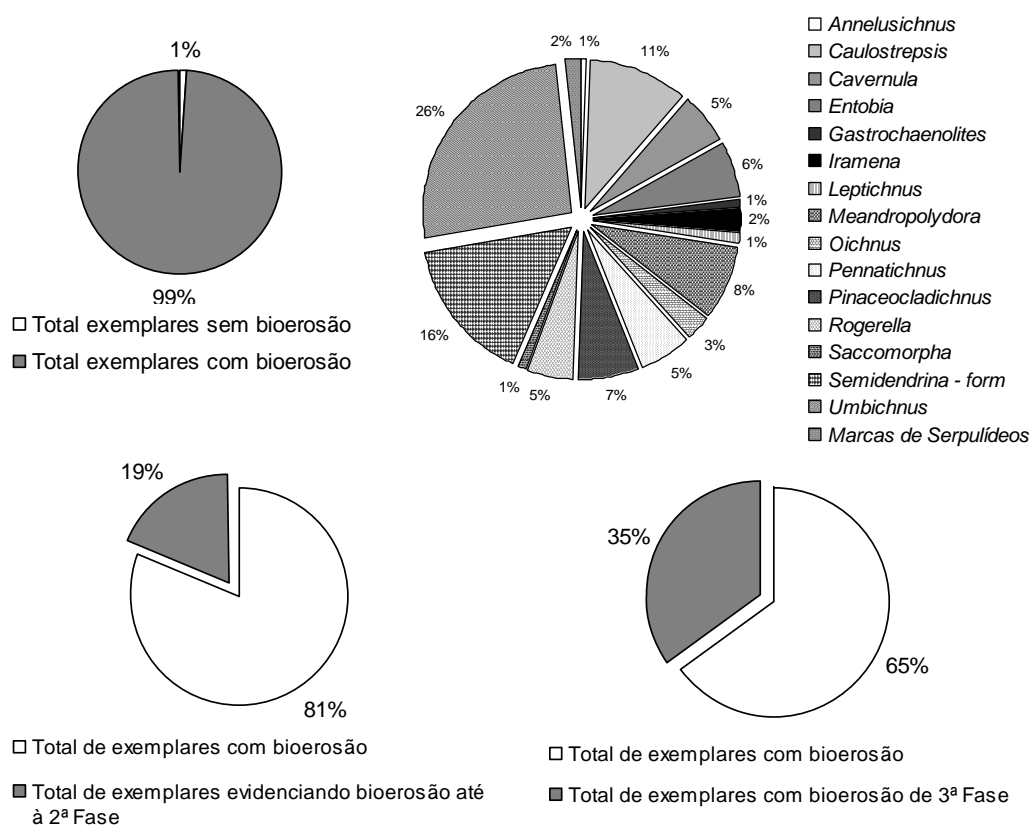
A estrutura bioerosiva predominante é, claramente, a perfuração correspondente à icnoespécie *Umbichnus inopinatus* Martinell, Domènech & Bromley, 1999 (26,3%; fig. 5: 8). Apenas 7 dos 74 exemplares observados não apresentam evidências desta perfuração (tabela 2).

Excluindo *U. Inopinatus*, cujo produtor é desconhecido, do ponto de vista das estruturas relacionadas com a actividade perfurante de organismos não predadores, dominam, por ordem decrescente, as relacionadas com as microperfurações de anelídeos poliquetas (*Caulostrepsis* – *Meandropolydora*, 19.2%), talófitas (*Semidendrina* – form, 16%), briozoários ctenostomados (*Pinaceocladichnus* – *Pennatichnus* – *Iramena*, 14.5%), esponjas da família Clionaidae (*Entobia*, 6.3%) e de microrganismos algais endolíticos (*Cavernula*, 5.5%).

As restantes evidências bioerosivas são pouco representativas, com valores inferiores a 5%. As estruturas bioerosivas relacionadas com a actividade encrustante representam uma percentagem bastante reduzida do registo total (3.3%), sendo as mais abundantes as estruturas produzidas pela fixação de anelídeos (1.6%).

Tabela 2. Dados de bioerosão referentes a cada estrutura e correspondentes percentagens (nº de valvas = 74/ nº de ocorrências = 255).

Ichnogêneros	Ichnoespécies	# Valvas	% Valvas	% Total
<i>Annelusichnus</i>	<i>A. circularis</i>	5	1.96%	0.56%
<i>Caulostrepsis</i>	<i>C. contorta</i>	8	10.96%	10.98%
	<i>C. taeniola</i>	11	15.07%	
	<i>Caulostrepsis</i> isp.	9	12.33%	
<i>Cavernula</i>	<i>C. pediculata</i>	14	19.18%	5.49%
<i>Entobia</i>	<i>Entobia</i> isp.	16	21.92%	6.27%
<i>Gastrochaenolites</i>	<i>G. digujus</i>	2	2.74%	0.78%
<i>Iramena</i>	<i>I. bonarensis</i>	6	8.22%	2.35%
<i>Leptichnus</i>	<i>L. dromeus</i>	1	1.37%	1.18%
	<i>L. peristroma</i>	2	2.74%	
<i>Meandropolydora</i>	<i>M. sulcans</i>	21	28.77%	8.24%
<i>Oichnus</i>	<i>O. paraboloides</i>	7	9.59%	2.75%
<i>Pennatichnus</i>	<i>P. luceni</i>	2	2.74%	5.48%
	<i>P. moguerenica</i>	7	9.59%	
<i>Pinaceocladichnus</i>	<i>P. onubensis</i>	17	23.29%	6.67%
<i>Rogerella</i>	<i>Rogerella</i> isp.	13	17.81%	5.10%
<i>Saccomorpha</i>	<i>S. terminalis</i>	2	2.74%	0.78%
<i>Semidendrina</i> - form	<i>Semidendrina</i> isp.	41	56.16%	16.08%
<i>Umbichnus</i>	<i>U. inopinatus</i>	67	91.78%	26.27%
	Outras Estruturas			
	Marcas de Serpulídeos	4	5.48%	1.57%



Cerca de 5% dos exemplares em estudo apresentam esqueletozoários que conservam a concha e aparecem directamente fixados sobre o substrato, dos quais se destacam os restos de briozoários (fig. 5: 13).

IV.III Discussão dos resultados

Relativamente à estrutura “*Semidendrina* form” Glaub, 1994 (fig. 5: 3), optou-se por considerá-la como microp perfurações de talófitas, com base em Santos & Mayoral (2008), em vez de perfurações de foraminíferos (Glaub, 1994), dado não haver evidências de foraminíferos ou pequenos aglutinados em torno da entrada das cavidades, como os que Cherchi & Schroeder (1991) referem.

Por comparação com taxas de bioerosão de estudos semelhantes (Santos, 2005; Dávid, 2001; Ruggiero & Bitner, 2008), podemos considerar, ainda que o estudo incida apenas sobre uma espécie como biosubstrato, que, em termos de organismos bioerosionadores e condições favoráveis à sua proliferação, a paleobiota em estudo seria extremamente rica e favorável.

Segundo Ivany et al. (2004), os bivalves do género *Megacardita* são endobentónicos, posicionando-se no substrato com o eixo ântero-posterior da concha vertical e com o lado anterior orientado para baixo. Sendo *M. jouanneti* uma espécie endobentónica superficial, o lado posterior da concha é mais facilmente infestado por organismos bioerosionadores dado que pode ficar mais ou menos exposto acima da interface substrato/coluna de água. Por outro lado, tem maior probabilidade de incorporar o registo fóssil, não só pela espessura considerável da concha, mas também porque, uma vez que vive no interior do sedimento, é mais difícil a sua exposição e transporte (Santos, 2005).

IV.IV Sequências de colonização

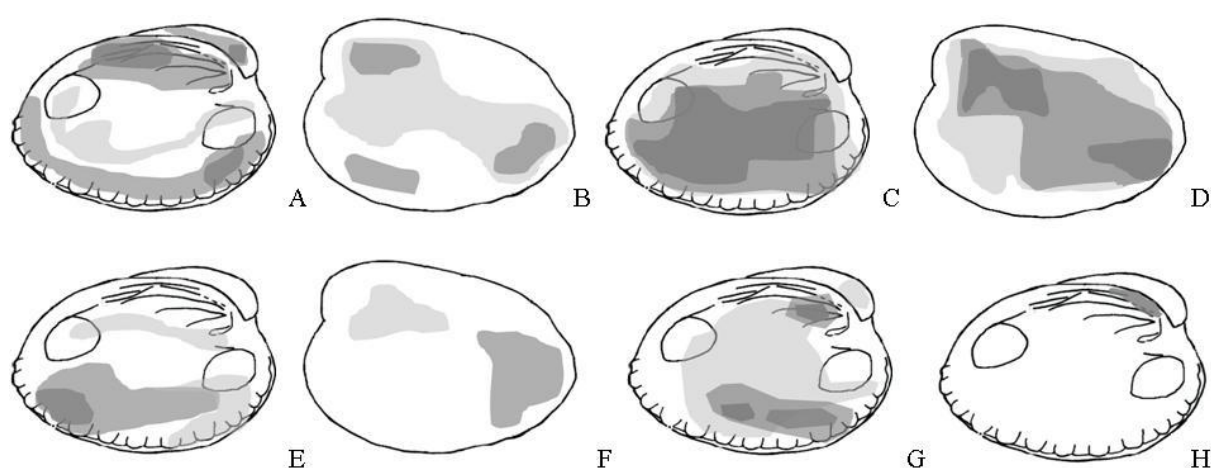


Figura 4. Diagramas de frequência da distribuição espacial dos principais icnogéneros sobre *Megacardita jouanneti* da Foz do Rego. A – *Caulostrepsis* (face interna). B – *Caulostrepsis* (face externa). C – *Entobia* (face interna). D – *Entobia* (face externa). E – *Meandropolydora* (face interna). F – *Meandropolydora* (face externa). G – *Pinaceocladichnus* (face interna). H – *Umbicchnus* (face interna). Escala de cor: cor mais clara – grau de densidade 1 (0-30% de ocupação da área); cor intermédia – grau de densidade 2 (30-60% de ocupação da área); cor mais escura – grau de densidade 3 (>60% de ocupação da área).

O estudo do tipo de bioerosão, eventuais padrões de distribuição espacial a nível da superfície das conchas e/ou orientação, bem como a sequência de colonização destes substratos fornecem uma quantidade de dados apreciável tendo grande utilidade na reconstituição da cronologia dos eventos ocorridos, quer durante a vida do hospedeiro, quer durante fases *post-mortem*. Neste sentido, tendo em conta o modo de vida de *M. jouanneti*, foi estudado o tipo e a distribuição das estruturas bioerosivas em cada exemplar, de forma a concluir se o mesmo foi infestado em vida ou, essencialmente, numa fase imediatamente *post-mortem* ou ainda se indicia uma exposição mais ou menos prolongada à superfície do sedimento. Seguindo a sequência determinada por Santos (2005), consideraram-se três fases de colonização: a primeira fase de ocupação (Fase 1), relacionada com os registos que mostram uma clara produção em vida do substrato anfitrião; a seguinte fase (Fase 2) correspondente à colonização do substrato imediatamente após a morte deste; a(s) última(s) fase(s) (Fase 3), correspondente(s) aos registos claramente *post-mortem* do substrato anfitrião.

Relativamente à icnoespécie *U. Inopinatus*, Martinell et al. (1999) começaram por sugerir que poderia ser interpretada como um processo de auto-dissolução, provocada pelo próprio bivalve. No entanto, esta cavidade não traz, aparentemente, nenhum benefício para a abertura das valvas e, por conseguinte, os mesmos autores, deixam em aberto a identificação do produtor sugerindo que a perfuração seja feita por acção de um anelídeo, provavelmente do tipo sipunculídeo ou um poliqueta terebelídeo. De qualquer modo, do ponto de vista de uma sequência de colonização, *U. inopinatus* é, seguramente, produzida em vida ou imediatamente *post-mortem* do organismo anfitrião, uma vez que surge em fósseis *in situ*, afectando simetricamente ambas as valvas. Esta estrutura circunscreve-se sempre à área ligamentar da zona cardinal (fig. 4: H), ocorrendo em bivalves com modo de vida infaunal pouco profundo (Santos, 2005).

Quanto à bioerosão produzida em vida do organismo anfitrião, optou-se por a não incluir como variável única (percentagem de exemplares apenas evidenciando bioerosão pertencente a esta fase) uma vez que não é possível, com um grau de certeza coerente, afirmar se determinadas estruturas foram produzidas em vida ou imediatamente após a morte do organismo anfitrião. Quanto a estruturas etológicas do tipo Praedichnia, de que são exemplo as perfurações atribuíveis ao icnogénero *Oichnus* (fig.5: 4), sendo resultado de actos predatórios, pode-se, sem grande risco, afirmar que foram produzidas em vida do organismo que as apresenta. No entanto, estruturas como *Caulostrepsis*, *Meandropolydora*, *Umbichnus* e *Gastrochaenolites*, apresentam dificuldades de atribuição a uma fase de colonização. As estruturas correspondentes aos dois primeiros icnogéneros referidos, produzidas por vermes poliquetas perfurantes, que ocorrem na superfície externa das valvas de *M. jouanneti*, localizam-se preferencialmente no bordo posterior dos exemplares estudados (fig. 4: B e F), que são as zonas que se encontram orientadas favoravelmente em direcção à interface sedimento-água e relacionadas, por sua vez, com a posição de vida dos bivalves em estudo. Pelo facto de *M. jouanneti* serem bivalves endobentónicos superficiais suspensívoros, “[...] os fluxos de água que se criam nestas zonas posteriores da concha fazem com que estas sejam lugares ideais para a fixação e captura de todo o tipo de nutrientes por parte dos organismos colonizadores.” (Santos, 2005: pág. 232). Deste modo, o poliqueta bioerosionador, tira vantagem dupla desta relação de comensalismo: instalação em substrato sólido e proximidade de alimento. Quando estas estruturas se localizam no interior das valvas, foram claramente

produzidas após a morte do organismo. No entanto, verifica-se uma maior concentração destas perfurações nos sectores ventral e posterior (fig. 2 e fig. 4: A e E) relativamente às zonas mais centrais, pelo facto destas áreas estarem mais acessíveis no início do processo de separação das valvas. No caso particular do icnogénero *Gastrochaenolites* (fig. 5: 9), se a perfuração atravessar a concha de um lado ao outro, implica que a estrutura tenha sido produzida numa fase *post-mortem* do organismo anfitrião. No entanto, como refere Santos (2005), perfurações deste tipo, em substratos espessos, não atravessando a concha de um lado ao outro, não implicam necessariamente lesão ou morte do organismo hospedeiro.

Relativamente às microperfurações produzidas por talófitas (*Semidendrina* – form), estas aparecem dispersas pelas valvas, tanto na superfície interna como na externa. Alguns exemplares apresentam estas estruturas concentradas na zona posterior da superfície externa das valvas, facto interpretado por ser esta a zona da concha que fica mais acessível a colonização após a morte do bivalve. Dado o tipo de classificação etológica – Domichnia, não se considerou a possibilidade destas estruturas serem produzidas durante a Fase 1 de colonização, dado que o curto espaço de tempo em que as *Megacardita* expunham o bordo posterior ao domínio epibentónico por questões de nutrição não seria suficiente para se estabelecer a ocupação por parte destas algas.

Do mesmo modo, as esponjas pertencentes à família Clionaidae apenas se implantariam após morte e exumação da concha, sendo que as estruturas do tipo *Entobia* se manifestam indiscriminadamente tanto na superfície externa como interna das valvas. A nível das áreas exteriores verifica-se uma maior densidade de colonização na zona posterior e central (zona definida pelas fronteiras entre as zonas Médio-Dorsal, Médio-Central e Ântero-Central) (fig. 4: C e D). A primeira localização preferencial está de acordo com Santos (2005), circunstância relacionada com o facto de serem as áreas que primeiramente ficam a descoberto depois da morte dos bivalves. Para a segunda localização preferencial, sugere-se que seja resultado de ser esta a zona que mais se sobressai aquando de uma posição horizontal com concavidade voltada para baixo das valvas de *Megacardita*, após exumação e desarticulação das mesmas, sendo assim mais susceptível de ser colonizada pelas referidas esponjas. A nível da superfície interna das conchas não se verifica uma área preferencial tão bem definida, sendo que a concentração destas estruturas vai diminuindo gradualmente para os bordos da valva (fig. 4: C). Nesta situação, este tipo de estruturas terão sido realizadas após a morte do bivalve, depois de um período de exposição considerável sobre o sedimento.

Relativamente à acção perfurante de briozoários, constata-se preferência pela superfície interna das valvas na zona cardinal e ventral (fig. 2 e fig. 4: G), por serem zonas com boa iluminação (Mayoral, 1986). As estruturas bioerosivas relacionadas com a actividade encrustante (*Anellusichnus*, *Leptichnus*, marcas de serpulídeos; fig. 5), ocorrem exclusivamente na superfície interna das valvas, e nas zonas mais internas desta superfície, por serem as zonas mais protegidas da concha (Santos, 2005).

Com base nas observações referidas nos parágrafos anteriores, procedeu-se à determinação da percentagem de valvas infestadas/colonizadas durante as Fases 1 e 2 (sem evidências de terem sido afectadas durante a Fase 3) e as que evidenciam claramente colonização ocorrida durante a Fase 3, face ao número total de valvas bioerosionadas (fig. 3). É importante referir que o facto de um exemplar apresentar estruturas com disposição atribuível a colonização de Fase 1 ou 2 não implica que não tenha estado exposto

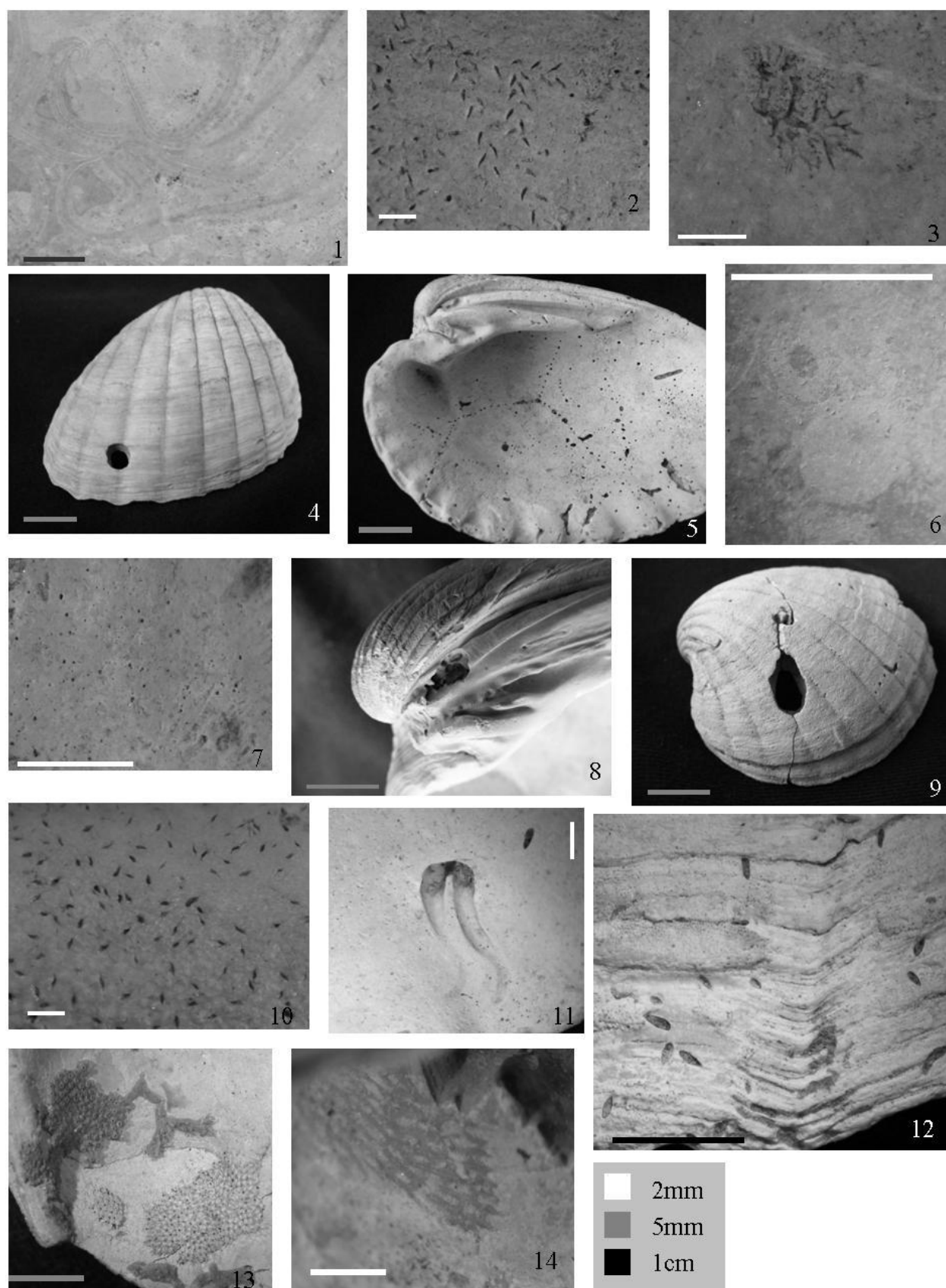


Figura 5. Estruturas de bioerosão sobre *Megacardita jouanneti*. 1- Marcas de Serpulídeos. 2- *Pennaticnus moguerenica*. 3- *Semidendrina*-form. 4- *Oichnus paraboloides*. 5- *Entobia* isp.. 6- *Annelusichnus circularis*. 7- *Cavernula pediculata*. 8- *Umbichnus inopinatus*. 9- *Gastrochaenolites digujus*. 10- *Pinaceocladichnus onubensis*. 11- *Caulostrepsis taeniola*. 12- *Rogerella* isp.. 13- Colônia de briozoários ctenostomados indeterminados. 14- *Leptichnus peristroma*.

às condições que possibilitariam ser colonizado em Fase 3, assim como a sua atribuição a colonização de Fase 3 não significa que não terá sido colonizado nas duas primeiras fases, pois atingindo esta fase esteve com certeza exposto às anteriores. Há que ter em consideração que a atribuição de fases evidenciada na figura 3 tem por base definir, com as devidas reservas, até que fase as valvas terão sido colonizadas, permitindo inferir sobre as condições de hidrodinamismo e taxas de sedimentação prevalecentes no local. Verifica-se assim que a percentagem de valvas afectadas por estruturas de bioerosão cuja distribuição sugere terem sido produzidas durante a Fase 3 de colonização é aproximadamente o dobro (35%) das valvas que apresentam colonização pertencente até à Fase 2 (19%). Pode-se assim inferir que, a bioerosão na unidade em estudo, sobre valvas de *M. jouanneti*, foi essencialmente produzida após a morte dos organismos anfitriões e exposição dos restos esqueléticos sobre o substrato por tempo considerável, indicando que as taxas de sedimentação deveriam ser baixas e o hidrodinamismo fraco, de modo a possibilitar esta exposição. Esta exposição prolongada está de acordo com o modo de vida dos organismos produtores das estruturas mais abundantes, uma vez que estes requerem tempo considerável para se estabelecerem no substrato.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu concluir que as valvas do bivalve *Megacardita jouanneti* são um óptimo substrato para organismos bioerosionadores, resultando numa taxa de bioerosão de 99 %, sendo que predominam as estruturas relacionadas com a actividade perfurante de organismos não predadores, nomeadamente anélídeos poliquetas, talófitas e briozoários ctenostomados. Do ponto de vista de uma sequência de colonização, há um claro predomínio de valvas colonizadas numa fase *post-mortem* do organismo anfitrião, principalmente após exumação e exposição dos restos corpóreos desse organismo sobre o substrato por períodos de tempo consideráveis.

Agradecimentos

Considero que este projecto começou antes mesmo de entregar a candidatura, quando o sugeri ao Professor Doutor Carlos Marques da Silva (Departamento de Geologia da FCUL) e obtive uma resposta positiva, que por si só me deu confiança para o realizar. Como tutor, pela sugestão do tema, pelas correcções das várias fases do trabalho, mesmo quando o seu tempo escasseava, pelo incentivo de participação no EJIP, o meu muito obrigado pela possibilidade.

Ao Professor Doutor Mário Cachão (Departamento de Geologia da FCUL) pela ajuda na correcção do texto, esclarecimento de questões relacionadas com a geologia da região e disponibilidade.

Quero também agradecer a Ana Santos e Eduardo Mayoral, do Departamento de Geodinâmica y Paleontologia da Universidade de Huelva, pelo esclarecimento de dúvidas, identificação de estruturas e revisão das fotografias.

Por último, agradeço a quem esteve presente não só na parte científica do trabalho, mas também como alicerce nas pequenas coisas, que se tornam tão maiores quando sozinha: ao Jorge, ao Pedro, ao Filipe e ao meu irmão António.

Bibliografia

- Antunes, M. T. (1979) - Le cycle alpin: Néogène in Ribeiro, A., Antunes, M. T.; Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G.; Almeida, F. M.; Carvalho, D. & Monteiro J. (Eds.), *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 79-85 pp.
- Antunes, M. T.; Civis, J.; Delgado, J.; Pais, J.; Gavilán, G.; Andrés, I.; Sierro, F.; Valle, M. & Nascimento, A. (1990) - The Late Serravallian – Early Tortonian marine sediments of the Tagus Basin (Lisbon Region). A sedimentological and paleoecological approach. IX R.C.N.S. Congress, *Abstracts*, Barcelona, pp. 1-3
- Antunes, M. T. & Pais, J. (1993) – The Neogene of Portugal. *Ciências da Terra*, **12**: 7-22
- Barbosa, B. (1995) - Alostratigrafia e litostratigrafia das unidades continentais da Bacia Terceária do Baixo Tejo: Relações com o eustatismo e a tectónica. Dissertação de Doutoramento. *Universidade de Lisboa*, 253 pp.
- Bertling, M., Braddy, S. J., Bromley, R. G., Demathieu, G. R., Genise, J., Mikuláš, R., Nielsen, J. K., Nielsen, K. S., Rindsberg, A. K., Schlirf, M. Uchman (2006) – Names for trace fossils: a uniform approach. *Lethaia*, **39**: 265-268.
- Blow, W. (1969) – Late Middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. Proc 1st International Conference Planktonic Microfossils, Geneva, **Vol.I**: 119-422.
- Bromley, R. G. (1992) – Bioerosion: Eating rocks for fun and profit in Trace fossils, Short Courses in Paleontology, 5. Maples, C. G., & West, R. R. (Eds.), *Paleontological Society*. Knoxville, Tennessee, 121-129 pp.
- Bromley, R. G. (1994) – The palaeoecology of Bioerosion in Donovan, S.K. (Eds), The Palaeobiology of Trace Fossils, John Wiley & Sons, New York, 134–154 pp.
- Cherchi, A. & Schroeder, R., 1991 – Perforations branchues dues à des Foraminifères cryptobiotiques dans des conchilles actuelles et fossiles. *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences de Paris (Micropaléontologie)*, **312**(II) : 111-115
- Cotter, J. B. (1956) - O Miocénico Marinho de Lisboa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, XXXVI suplemento, 170 pp.
- Delgado, J.; Andres, I. & Sierro, F. (1995) - Late Neogene molluscan faunas from the Northeast Atlantic (Portugal, Spain, Morocco). *Geobios*, **28** (4): 459-471.
- Dávid, Á (2001) - Macrobioerosion in the Shells of Early-Miocene Oysters of Two Localities – a Comparison (Hegyeskő road cut, Szarvaskő and abandoned limestone quarry, Nagyvisnyó; Bükk Mountains, Hungary). *Malacological Newsletter*, **19**: 5-21
- Dollfus G.; Cotter, J. B. & Gomes, J. (1903-04) - Mollusques tertiaires du Portugal. Planches de Céphalopodes, Gastéropodes et Pélécypodes laissées par F. A. Pereirada Costa accompagnés d'une esquisse géologique. *Memórias e Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 120 pp.
- Gibert, J.M., Doménech, R. & Martinell, J. (2004) – An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of new class, fixichnia. *Lethaia*, **37**: 429-437.
- Glaub, I., (1994) - Mikrobohrspuren in ausgewählten Ablagerungsräumen des europäischen Jura und der Unterkreide (Klassifikation und Palökologie). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **174**: 1–324.
- Ivany, L.C.; Wilkinson, B.H.; Lohmann, K. C.; Johnson, E. R.; McElroy, B. J. & Cohen, G. J. (2004) - Intra-annual isotopic variation in venericardia bivalves: implications for early Eocene temperature, seasonality, and salinity on the U.S. Gulfcoast. *Journal of Sedimentary Research*, **74** (1): 7-19
- Legoinha, P. (1993) - Miocénico da Península de Setúbal (faixa ocidental a Sul da Lagoa de Albufeira). Foraminíferos, biostratigrafia e paleoambientes. Dissertação de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, F.C.T. /U.N.L., 78 pp.
- Martinell, J.; Doménech, R. & Bromley, R.G., (1999) - Mysterious boring hidden within the hinge plates of heterodont bivalves. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **45**: 161-163
- Mayoral, E., (1986) – Tafonomía y paleoecología de Huelva-Bonares. Tesis Doctoral. *Universidad de Sevilla*, 599 pp. (inérito)
- Neumann, A. C. (1966) – Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, *Cliona lampa*. *Limnology and Oceanography*, **11**: 92-108.

- Penades, M.C. & Acuña, J.D., (1980) – Importancia de los moluscos en la dieta de *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus) (peces espáridos) en el litoral valenciano. *Boletín de la Real Sociedad Española Historia Natural*, secc. Biol., **78**: 127-132.
- Pereira, P. S. (1993) – Bioerosão. Relação organismo – substrato duro. Um exemplo do Neogénico de Portugal: a jazida de Vale de Freixo. Seminário da licenciatura em Geologia, *Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*, 29 pp. (inédito).
- Ruggiero, E. T. & Bitner, M. A. (2008) - Bioerosion on brachiopod shells – a Cenozoic perspective. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **98**: 369–378
- Santos, A. (2005) – Tafonomia e Paleoicnologia do Neogénico Superior do sector Cacela-Huelva (SE da Ibéria). Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Paleontologia, *Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve*, 308 pp. (inédito)
- Santos, A. (2008) – Bioerosão: O que é? Para que serve?, in Mateus, A. (Coord.), *Terra e Vida: as origens da diversidade*. Departamento de Geologia FCUL, Lisboa, 13-15 pp.
- Santos, A. & Mayoral, E. (2008) - Bioerosion versus colonisation on Bivalvia: A case study from the Upper Miocene of Cacela (southeast Portugal). *Geobios*, **41**: 43-5.
- Santos, A., Mayoral, M., Silva, C.M. da; Cachão, M; Domènech, R. & Martinell, J. (2007) – Trace fossil assemblages on Miocene rocky shores of Southern Iberia in Wisshak, M. & Tapanila, L. (Eds.), *Current Developments in Bioerosion*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 431-450 pp.
- Silva, C.M. da; Cachão, M.; Martinell, J. & Domènech, R. (1995) – Estruturas bioerosivas como indicadores paleolitorais rochosos. O exemplo do Miocénico da Foz da Fonte (Sesimbra, Portugal). Dados preliminares. *Memórias do Museu e Laboratório de Mineralogia Geologia da Universidade do Porto*, **4**: 133-137.
- Silva, C.M. da; Cachão, M.; Martinell, J. & Domènech, R. (1999) – Bioerosional evidence of rocky paleoshores in the Neogene of Portugal. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **44**: 156-160.